

運動処方における目標心拍数の精度について

浅川 康吉, 遠藤 文雄*, 亀田 実**,
磯部 啓子**, 森永 敏博

Accuracy of Target Heart Rate on Exercise Prescription

Yasuyoshi ASAKAWA, Fumio ENDO*, Minoru KAMEDA**,
Keiko ISOBE**, Toshihiro MORINAGA

Abstract: The Sixteen males were separated into two groups, untrained group consisting of 10 healthy subjects (40.5 ± 2.0 Y.O.) and trained group consisting of five triathlon enthusiasts (39.0 ± 5.5 Y.O.). The data were analyzed along with standard errors from simple regression formula between oxygen uptake and heart rate during the test of physical work capacity using the Bruce protocol on the treadmill. Each obesity index was formulated from height and body weight.

The standard errors were compared between the trained group and untrained group. Obesity indices of the trained group and untrained group were also compared along with the standard errors in each group.

The range of standard errors was $\pm 3.1 \sim \pm 8.4$ (beats / minute) in the untrained group, and $\pm 4.0 \sim \pm 8.4$ (beats / minute) in the trained group. No significant differences in standard error were found between the two groups. There was no significant correlation in the obesity indices or standard errors between the two groups.

These findings indicate the difficulty in estimating the standard error of target heart rate from analysis of the obesity index and previous sports experience. However, the target heart rate method is still effective for setting each intensity of exercise in the clinical situation, within the standard error.

Key words: Exercise Prescription, Target Heart Rate, Standard Error

京都大学医療技術短期大学部理学療法学科（京都市左京区聖護院川原町53）

Division of Physical Therapy, College of Medical Technology, Kyoto University

* 群馬大学医療技術短期大学部理学療法学科（群馬県前橋市昭和町3-39-15）

Division of Physical Therapy, College of Medical Technology, Gunma University

** 日高病院リハビリテーションセンター（群馬県高崎市巾尾町886）

Rehabilitation Center, Hidaka Hospital

1991年7月10日受付

はじめに

いわゆる健康増進のための運動において有酸素作業能力向上の重要性は一般人、有病者、障害者を問わず論をまたない。そして、そのための運動の条件として、宮下¹⁾は全身を使って行う運動であること、5分以上続く運動であること、1回の運動で疲れきってしまうような運動でないこと、をあげている。これらの条件での

運動を運動不足の中老年者や有病者へ応用することを考えた場合、最も個別的な処方要求されるものは運動強度の問題である。その決定方法（処方法）としては普通、Mets, 自覚的（主観的）運動強度、心拍数などを利用する方法が用いられる²⁾。中でも運動中の心拍数は有酸素作業能力の評価指標である酸素摂取量との間で、相関が極めて高い一次回帰式が得られ、心拍数による処方法は簡便で有用な手段とされている。そして、循環器疾患をはじめ糖尿病や慢性血液透析患者の運動療法における運動強度の指標としても心拍数は用いられることが多い^{3,4,5)}。

心拍数による運動処方の簡便さを考慮すると、この方法は有病者や障害者の運動処方の手法としても今後広く用いられて行くことが予想される。その場合、重要な要素となってくるのが各種の強度における処方精度の問題である。芝山⁶⁾は壮年者の運動処方について安全という観点から、定常的な全身運動を勧めている。そしてその理由として、定常状態では酸素の需要供給バランスが乱れず、体温や血液 PH の安定度も高いという現象が得られ、この結果として事故発生の可能性が少なくなるということを述べている⁶⁾。運動療法の適応となるような有病者や障害者においてもこれらの現象は重要であり、今後こうした対象者への応用を考えれば、より低い運動強度での正確な処方技術が要求されることになると思われる。今後の運動療法の適応範囲を拡大するうえで、日常の運動処方に頻繁に用いられている心拍数による運動処方の精度を高めるための工夫、あるいは処方誤差を正確に知るための工夫は必要不可欠なものである。対象者が健常人で処方前に最大（あるいは最大下）までの運動負荷試験が行えれば問題はないが、有病者や障害者ではリスク管理と平行して

低い強度から運動を開始する場合が多い。したがって、運動負荷試験を実施せずに得られる情報である「運動習慣」や「体型」と処方精度の間に何らかの関係が見られれば、この関係を知っておくことは、実際の運動処方の正確性をより高めるために有用である。今回、我々は処方精度を向上させるための基礎的知見を得ることを目的に、酸素摂取量と心拍数の回帰分析を行い、酸素摂取量からの心拍数評価値の標準誤差を求めた。そして、これを処方誤差の指標として、肥満度や運動習慣の有無によって誤差程度に一定の傾向が見られるかどうかを検討した。

対 象 と 方 法

1 対 象

対象者は表 1 に示すような 16 名である。内訳は医師により運動負荷試験実施に問題無しと判断された健常成人 11 名（以下、運動習慣の無い群）とアマチュア・トライアスリート 5 名（以下、運動習慣の有る群）である。

運動習慣の無い群の平均年齢は 40.5 ± 2.0 歳、平均身長は 168.0 ± 6.5 cm、平均体重は 64.9 ± 6.4 kg、であり特にスポーツ歴を有する者はなく全員事務系管理職として就労していた。

運動習慣の有る群の、平均年齢は 39.0 ± 5.5 歳、平均身長は 171.2 ± 2.6 cm、平均体重は 64.2 ± 3.7 kg、であり全員がトライアスロン・グループに所属し、その在籍期間は 15～36 ケ月（平均 31.0 ± 7.8 ケ月）であった。また、この間に競技会での入賞経験やトレーニング指導を受けた経験はなかったが、一週間の平均的トレーニング量としてランニング 20～50 km あるいは水泳 3～5 km を基礎メニューとして実施し、さらに競技への参加時期にあわせて自転車や登山を加えているものが多かった。職業種別では学校教員が 1 名の他は全員事務職として就労し

表 1 対 象 者

	年 齢	身 長(cm)	体 重(kg)	肥満度(%)
運動習慣の無い群(n=11)	40.5 ± 2.0	168.0 ± 6.5	64.9 ± 6.4	$-7.4 \sim 23.7$
運動習慣の有る群(n=5)	39.0 ± 5.5	171.2 ± 2.6	64.2 ± 3.7	$-7.0 \sim 11.0$

ていた。

2 方法

(1) プロトコル

両群の各対象者において、自覚的最大運動強度に至ることができること、また、全身運動であること、漸増負荷であること、の条件を満たすためにトレッドミルによるブルースプロトコルを用いての運動負荷試験を実施した。本方法は速度と傾斜の両方を漸増していく負荷方法であり、1ステージが3分間の計7ステージから構成されている(表2)。

表2 ブルース・プロトコル

ステージ	時間(分)	スピード(km/h)	傾斜(%)
1	3	2.7	10
2	3	4.0	12
3	3	5.4	14
4	3	6.7	16
5	3	8.0	18
6	3	8.8	20
7	3	9.6	22

(2) 使用データと分析に用いた指標

運動中のデータとして運動負荷開始後1分から酸素摂取量の最大値(Peak $\dot{V}O_2$)を示すまでの、毎分あたりの心拍数(以下、心拍数)と、毎分あたりの酸素摂取量(以下、酸素摂取量)を用いた。その後、両者の関係について回帰分析を行い、任意の酸素摂取量に相当する心拍数の誤差を知るために、酸素摂取量から心拍数を推定したときの推定値を算出し一次回帰式における標準誤差を求めた。そして、この絶対値を各人の処方誤差の指標とした。つまりここで扱う誤差とは、個別的回帰直線が決定されていることを仮定した上で、酸素摂取量より心拍数を処方する際の誤差である。このため回帰直線の傾きの範囲(誤差)を示す回帰係数の信頼区間は考慮しないこととした。

また、肥満度は各人の外観から簡便に知ることができる体型の指標であることに着目し、それをその指標とした。肥満度の算出は、各々の

身長から桂の式⁷⁾により算出した標準体重と実体重の差を標準体重で除した百分率を求める方法を取った。

運動習慣については両群のトレーニング量の差から、健常成人群を運動習慣の無い群、トライアスリート群を運動習慣を有する群として扱った。

(3) 使用機器

測定機器として、運動負荷用トレッドミルにクイントン社製のQX-T型スポーツトレッドミル、呼気ガス分析機に日本電気三栄社製エアロビプロセッサ-391型、心拍数モニターに同社のBioview E型を使用した。

(4) 検討項目

運動習慣の有無による標準誤差の差については、two sample t testを用いて検定した。

運動習慣の無い群における肥満度と標準誤差の大きさ、および運動習慣の有る群における肥満度と標準誤差の大きさについては、それぞれ肥満度と標準誤差の絶対値についてPearsonの相関係数を求め、t検定を適用して相関を判定した。

結 果

- (1) 肥満度は運動習慣の無い群で $-7.4 \sim 15.3\%$ 、運動習慣の有る群では $-7.0 \sim 11.0\%$ 、の範囲であった。
- (2) 標準誤差は、運動習慣の無い群で $\pm 3.1 \sim \pm 8.4$ (拍/分)、運動習慣の有る群で $\pm 4.0 \sim \pm 8.6$ (拍/分)であった。
- (3) 運動習慣の有無によって標準誤差の有意な差は認められなかった($p < 0.05$)(図1)。

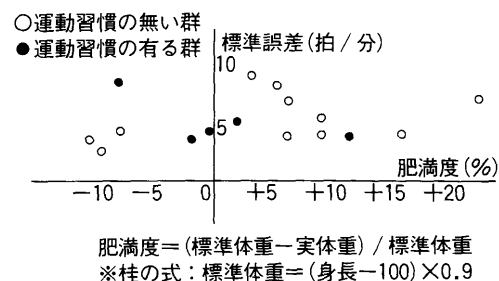


図1

- (4) 運動習慣の無い群において、肥満度と標準誤差の間には有意な相関がみられなかった ($\gamma = -0.33$, $p < 0.05$) (図1)。
- (5) 肥満習慣の有る群において肥満度と標準誤差の間には有意な相関がみられなかった ($\gamma = 0.25$, $p < 0.05$) (図1)。

考 察

有酸素作業能力を評価できる専門家がおり、その設備があれば、運動処方には個別に最大(あるいは最大下)の運動負荷試験を実施し、そこから得た酸素摂取量と心拍数の関係より任意の強度の酸素摂取量に相当する心拍数を処方することが望ましい手法である。しかし、こうした方法は日常的手法としては困難である場合が多い。

一方、特に有病者や障害者の運動処方においては、その精度をより高めるために安静時心拍数を考慮した Karvonen method⁸⁾が提唱されている。長谷ら⁹⁾は慢性血液透析患者の運動処方において、%HR max 法²⁾と Karvonen method の両方法の% $\dot{V}O_2$ max との一致について比較を行い、Karvonen method の方がより近似的であることを報告している。

また、P. O. Åstrand¹⁰⁾は酸素摂取量などの推定について、対象集団の全体的傾向をつかむためには各指標間の相関係数が重要であるが、個別的推定を行う場合には各人の回帰直線のもつ標準偏差(すなわち標準誤差)がその推定値にたいして重要な意味をもつことを指摘している。

さらに、実際の臨床場面での運動負荷試験や中等度から高度の運動強度の処方にあたっては予測最大心拍数を指標とした処方が多い。そうした処方の際の誤差について、池上⁷⁾は予測最大心拍数と実測値との誤差がおおよそ10拍(約5%)以内であることから、50~70%程度の運動強度では推定値による処方誤差もほぼ6~7拍(約5%)以内にあると述べている。

こうした研究結果は、目標心拍数の処方に際しては、誤差が生じることを認識させるもので

ある。したがって、有病者や障害者に応用するために、より精度の高い処方を確立するには、処方した酸素摂取量に相当する心拍数の誤差の範囲を把握しておくことが必要である。特に、こうした対象者に必要性が高くなる低強度のトレーニングについては、目標心拍数が低くなり、リスク管理も厳密になることから、その誤差の大きさは問題になると思われる。

今回のように漸増負荷時の運動開始1分からPeak $\dot{V}O_2$ に至るまでのデータを用いて得られた回帰分析の標準誤差が、両群をあわせても3.1~8.6(拍/分)の範囲であったことは、この程度の範囲が実際の目標心拍数を用いた運動強度設定の誤差であることを示したと考えられる。さらに図1より、肥満度も運動習慣も、誤差の程度には影響せず、対象者の外観や問診による運動歴聴取から処方誤差を推定することは困難であることが示唆された。図1を見る限り、処方誤差は個体差の影響が強いと推察される。

有酸素作業能力向上のための中等度から高強度トレーニングの処方時には、処方対象も健常である場合が多く運動負荷時の種々の所見も得やすい。一方、こうした所見が得づらく、しかも低強度で精度の高い処方が要求されるのは、有病者や障害者の運動処方においてである。加えて、実際の処方に際しては%運動強度で患者指導が行われる場合も多いと思われるが、誤差量(拍/分)を目標心拍数に対する百分率に換算して処方誤差を%で考えた場合、低強度の運動ほど目標心拍数が低くなるわけであり、必然的に処方誤差範囲(%)が大きくなることになる。こうした事を考慮すると、運動負荷による心拍数と酸素摂取量の関係の個人差は有酸素作業能力が低いときほど知る必要性が高くなると考えられる。処方強度によらず、正確な運動処方を行うにはやはり運動負荷試験が必要である。

健常成人がジョギング、ランニング、水泳等で全身持久力改善のための運動に取り組む場合は、その運動強度は中等度で設定され目標心拍数にも10~20%程度の幅をもつ場合が多い。今回の標準誤差は両群の範囲をあわせても ± 3.2

～±8.6 (拍 / 分)であることを考慮すると、例えば100 (拍 / 分)程度の比較的低い強度を処方する場合では、その誤差は目標心拍数の6.4～17.2%以内となる。したがって、処方強度に同程度の幅をもたせることは、臨床的患者指導においては必要なことであり、換言すれば同程度の処方幅が許容される程度の運動処方であれば低強度でも十分信頼できる処方方法ということになると思われる。この場合、処方強度は%で指示するよりも目標心拍数±標準誤差の形で指示したほうがより実際のものとなろう。

また、誤差の程度に運動習慣の有無によって差がみられないことからすればトレーニングを重ねてもその誤差範囲に著しい変化が生じるとは考えがたい。したがって一般的な運動処方的に設定強度の幅の許容範囲がある程度あるような運動であれば、心拍数は、強度指標として優れていること、およびトレーニングによる体力増進の効果をみる指標として有用な指標であること、の2点については本研究で確認できたと考える。

健康増進に関心が高まりつつある近年、その重要な要素である有酸素作業能力の改善のための運動処方として心拍数を用いることは日常的に行える極めて簡便な手法であり広く行われている。したがって、この方法は低水準からの有酸素作業能力の改善が問題となる有病者や障害者にたいしても応用されるべきであろう。処方精度の問題はこうしたリスクを持つ者に対したときにこそ重要な問題になるとと思われる。

今回の対象者には、特に肥満傾向や、痩瘦傾向の顕著な者がなかった。これは運動習慣の無い群が全員管理職の身であり、運動習慣の有る群と同様に、身体コンディショニングに対する意識が高い集団であったためと考えられる。また、体型についてはさまざまな指数があることやスポーツマンと非スポーツマンでの体脂肪率が異なることを考慮すると、体型との関連はさらに検討の必要があると思われる。

今後、「運動」の恩恵を受けるべき対象者の広がりを見ると、その強度のみならず様式や

頻度についてもより精度の高い処方方法を検討し、安全で確実な運動療法を確立することが必要である。

ま と め

- (1) 心拍数による運動強度の処方においてその誤差の範囲や特性についての基礎的知見を得ることを目的に処方誤差と体型および運動歴の間の検討を行った。
- (2) 処方誤差の指標として、酸素摂取量と心拍数の一次回帰式における酸素摂取量から心拍数を推定したときの標準誤差を用いた。また、体型は肥満度を指標とし、運動習慣の有無は一般健常人11名を運動習慣の無い群、トライアスリート5名を運動習慣の有る群、として扱った。
- (3) 検討した項目は、運動習慣の有無と標準誤差の大きさ、運動習慣の無い群における体型と標準誤差の大きさ、運動習慣の有る群における体型と標準誤差の大きさ、の3点である。
- (4) 標準誤差の大きさは、運動習慣の無い群で±3.1～±8.4 (拍 / 分)、運動習慣の有る群では±4.0～±8.6 (拍 / 分)であり、運動習慣の有無によって有意な差は見られなかった ($p < 0.01$)。また、両群とも、肥満度と標準誤差との間に有意な相関は認められなかった ($p < 0.05$)。
- (5) この結果より、対象者の肥満度や運動歴から処方誤差を推定することは困難と思われた。また、誤差の大きさを考慮すると、精度の高い処方を行うには個別の標準誤差を知る必要があるが、±3.1～±8.6 (拍 / 分)程度の処方幅が許容できる運動処方であれば心拍数による運動強度設定は各種の強度の処方において妥当であると思われた。

文 献

- 1) 宮下充正: 運動処方の基礎的内容. 宮下充正, 武藤芳照編. 運動療法ガイド 正しい運動処方を探る. 東京: 日本醫事新報社, 1990: 17-21
- 2) アメリカスポーツ医学協会編: 運動処方の指針

- 運動負荷試験と運動プログラム. 第3版(日本体力医学会体力科学編集委員会 監訳). 東京: 南江堂, 1989:40-45
- 3) 高橋正明: 心疾患のリハビリテーション. 五味重春監修 リハビリテーション医学講座 第17巻 循環器疾患呼吸器疾患. 東京: 医歯薬出版, 1986:66-96
- 4) 平沢由平編: 透析患者の運動療法. 東京: 日本メデイカルセンター, 1984:1-194
- 5) 木村朗, 米田稔彦, 林義孝, 久保田稔, 河盛隆造: 合併症を有するインスリン非依存型糖尿病患者の低強度運動療法プログラムの効果. 星充, 池田義雄, 佐藤裕造, 藤井暁, 河盛隆造編: 糖尿病の運動療法 運動と糖代謝応答. 東京: 同文書院, 1989:136-141
- 6) 芝山秀太郎: 壮年期の体力づくりと各種スポーツの運動強度のとらえかた. 体育の科学 1987; 37:760-764
- 7) 池上晴夫: 運動処方 理論と実践. 東京: 朝倉書店, 1982:115-215
- 8) Karvonen M J, Ketala E, Mustala O: The effects of training on heart rate. *Ann Med Exp* 1957; 35: 307-315
- 9) 長谷弘記, 張光哲: 慢性血液透析患者の運動処方における運動強度の検討. 腎と透析 1984; 16:807-813
- 10) P O オストランド, K ラダール: オストランド運動生理学(朝比奈一雄監訳, 浅野勝己訳). 東京: 大修館書店, 1979:254-275